



RELAZIONE DI CALCOLO DELLE PROVE DI CARICO PONTE IN C.A.P. A 5 TRAVI

INDICE

1	PREMESSE	4
1.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA	4
1.2	OBIETTIVO	5
2	SCHEMI DI CARICO	6
2.1	MEZZI UTILIZZATI	6
2.2	FASE 1	7
2.3	FASE 2	7
2.4	FASE 3	8
2.5	FASE 4	9
2.6	DISPOSIZIONE DEI PUNTI DI MISURA	10
2.7	PROGRAMMA DI CARICO E MODALITÀ DI LETTURA	11
3	MODELLAZIONE	12
3.1	INFORMAZIONI SUL CODICE DI CALCOLO	12
3.2	ANALISI FEM.....	12
4	SOLLECITAZIONI NELLA FASE DI PROGETTO	14
5	SOLLECITAZIONI IN FASE DI PROVA DI CARICO	19
5.1	FASE 2	19
5.2	FASE 3	20
5.3	RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI.....	20
6	SPOSTAMENTI IN FASE DI PROVA DI CARICO	21
6.1	FASE 2	21
6.2	FASE 3	22

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento dell'intervento	4
Figura 2 – Profilo longitudinale	4
Figura 3 – Sezione trasversale	5
Figura 4 – Schema autocarro per la prova di carico.....	6
Figura 5 – Schema di carico nella Fase 2 – sezioni	7
Figura 6 – Schema di carico nella Fase 2 – pianta	8
Figura 7 – Schema di carico nella Fase 3 – sezioni	9
Figura 8 – Schema di carico nella Fase 3 – pianta	9
Figura 9 – Pianta posizionamento dei punti di lettura.....	10
Figura 10 – Modellazione, Vista 3d	13
Figura 11 – Modellazione campata con numerazione frame (vista in pianta)	13
Figura 12 – Modellazione campata con numerazione joint (vista in pianta).....	13
Figura 13 – Sollecitazioni flettenti di progetto	18
Figura 14 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico per la fase 2	19
Figura 15 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico per la fase 3	20
Figura 16 – Configurazione deformata in Fase 2	21
Figura 17 – Configurazione deformata in Fase 3	22

1 PREMESSE

1.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

Oggetto della presente relazione è la descrizione delle prove di carico effettuate sul ponte in c.a.p. a cinque travi che sormonta il canale Milano – Cremona – Po, in corrispondenza degli abitati di Acquanegra Cremonese (CR) e di Crotta d'Adda (CR).

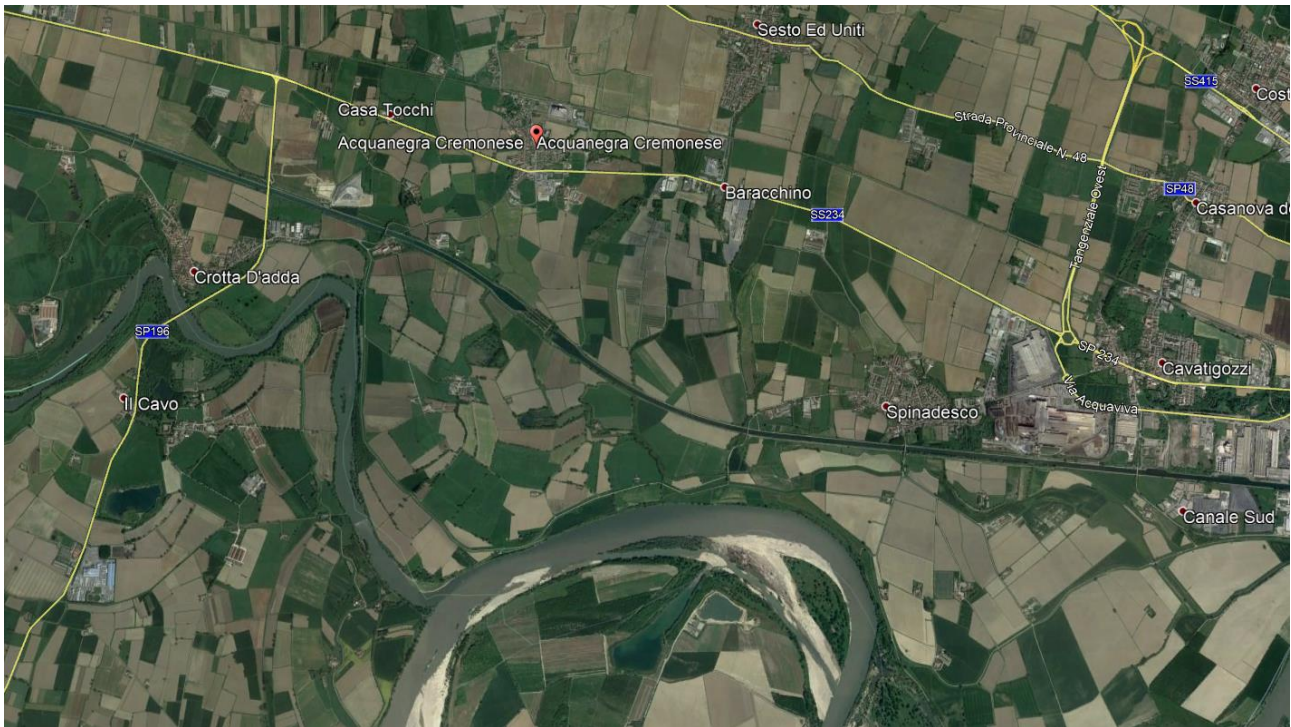


Figura 1 – Inquadramento dell'intervento

Il ponte in oggetto è composto da tre campate, di cui quelle laterali presentano una luce netta misurata in asse delle sottostrutture pari a 20,80 m, con uno sbalzo verso la campata centrale di 5,20 m che termina nella zona di sella. La campata centrale risulta semplicemente appoggiata in corrispondenza delle selle ed ha una lunghezza pari a 30,60 m.

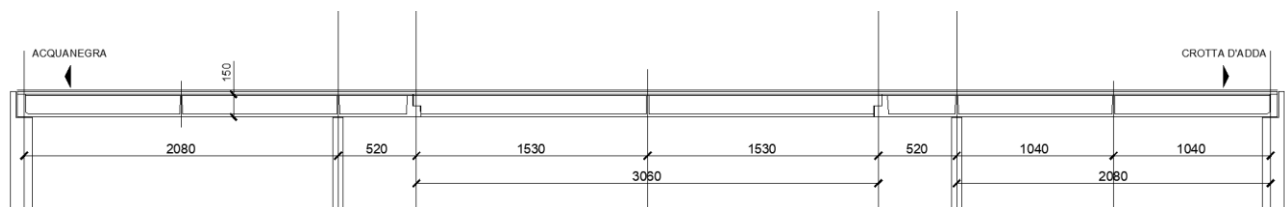


Figura 2 – Profilo longitudinale

La sezione trasversale presenta una larghezza pari a 10,00 m, suddivisa in 7,00 m di sede stradale e due marciapiedi laterali di larghezza pari a 1,50 m.

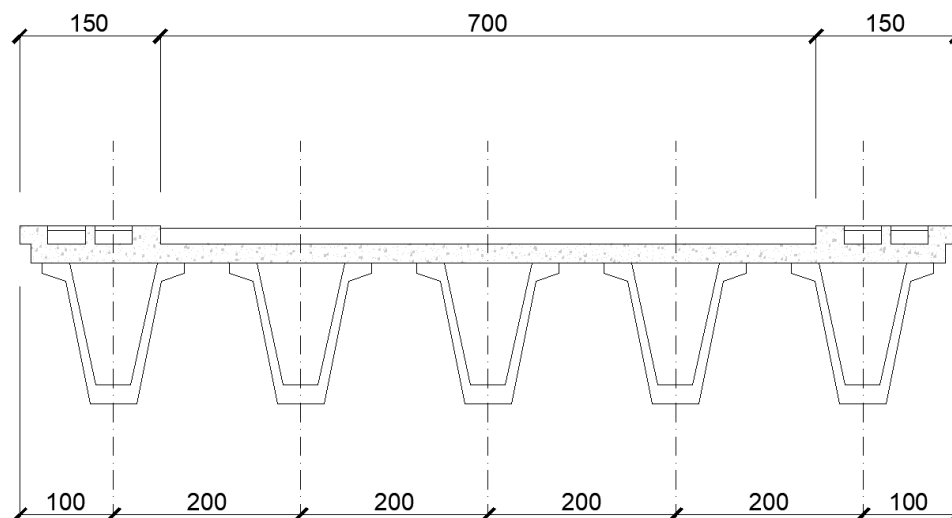


Figura 3 – Sezione trasversale

1.2 OBIETTIVO

Scopo della presente relazione è quella di individuare numero e posizione dei mezzi che inducono nell'impalcato delle sollecitazioni confrontabili con quelle previste in progetto, relativamente ai carichi accidentali.

2 SCHEMI DI CARICO

2.1 MEZZI UTILIZZATI

Il mezzo utilizzato è rappresentato nella seguente figura.

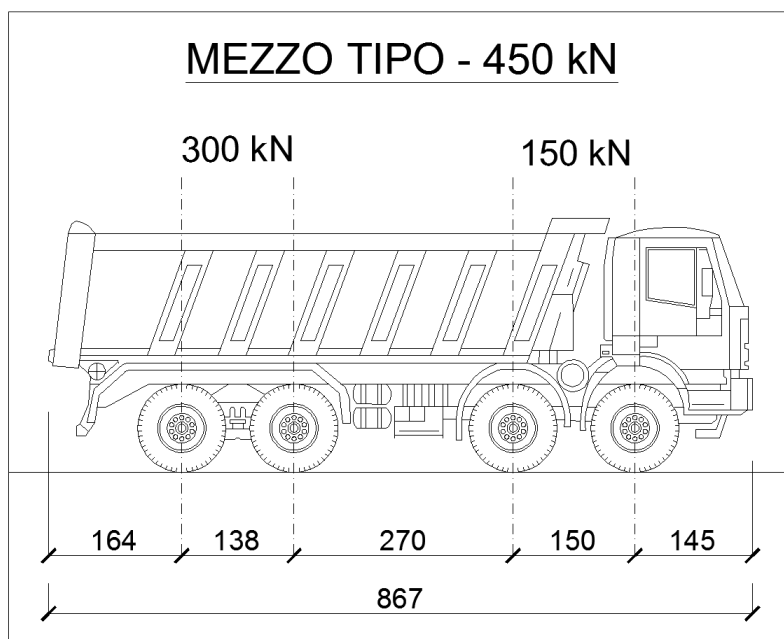


Figura 4 – Schema autocarro per la prova di carico

Le caratteristiche del carico sono:

- Larghezza di ingombro: 2,50 m
- Lunghezza di ingombro: 8,67 m
- Peso a pieno carico: 450 kN
- Peso su mediana A (posteriore): 300 kN
- Peso su mediana B (anteriore): 150 kN

2.2 FASE 1

In questa fase si prevede la lettura iniziale dell'opera scarica (lettura di zero).

2.3 FASE 2

In questa fase si prevede la prova di carico della campata centrale. Essa viene caricata trasversalmente disponendo due autocarri sulla parte più esterna della carreggiata, a 0,50 m dal cordolo di destra percorrendo il ponte in direzione Crotta d'Adda. Essi si collocano ad una distanza longitudinale di 3,00 m l'uno dall'altro e sono disposti in modo tale da massimizzare il momento flettente in mezzeria della campata. I mezzi sono caricati con il massimo carico applicabile, ossia **450 kN**, per un totale di **900 kN** presenti sull'impalcato.

Di seguito si riporta lo schema considerato:

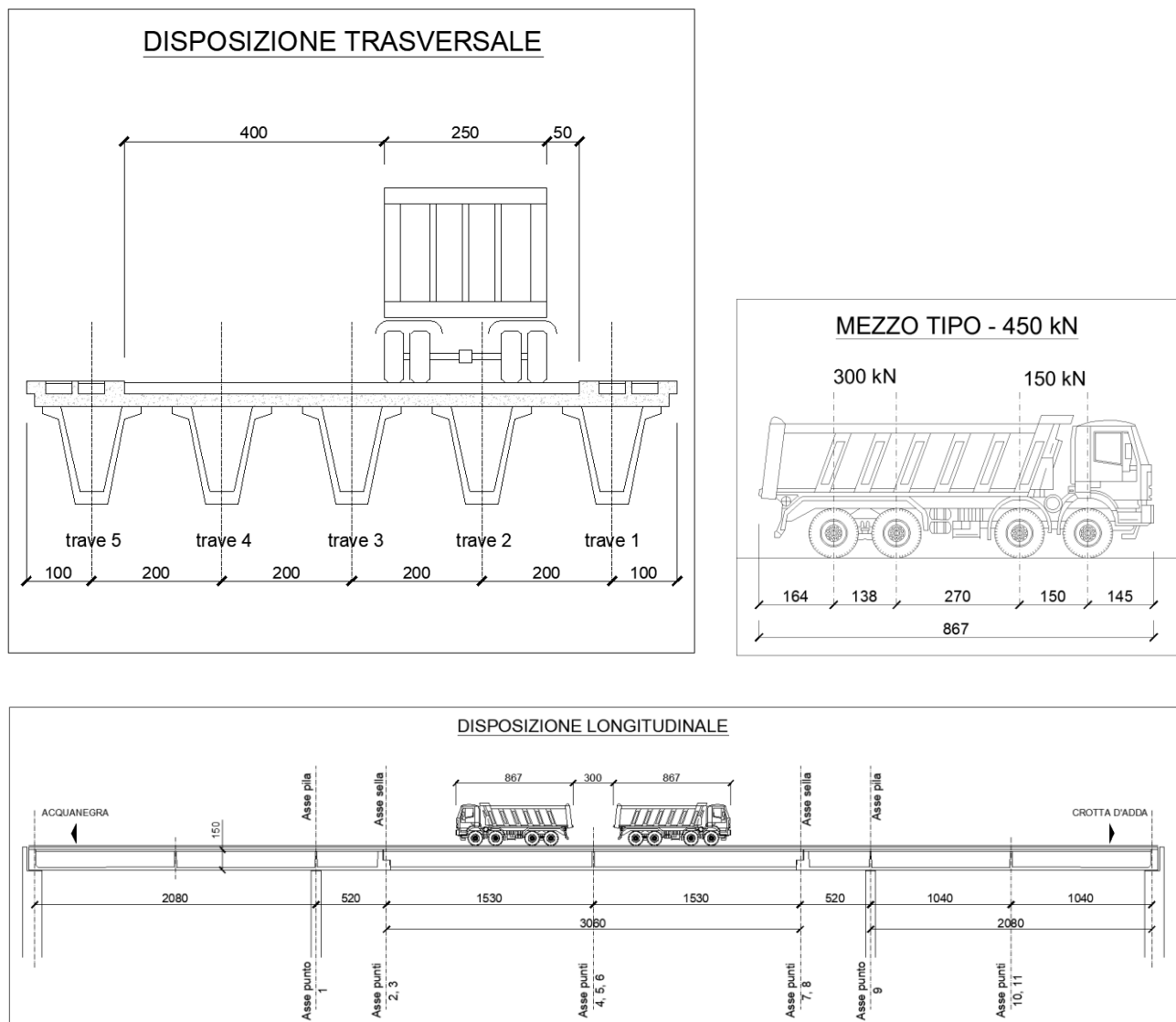


Figura 5 – Schema di carico nella Fase 2 – sezioni

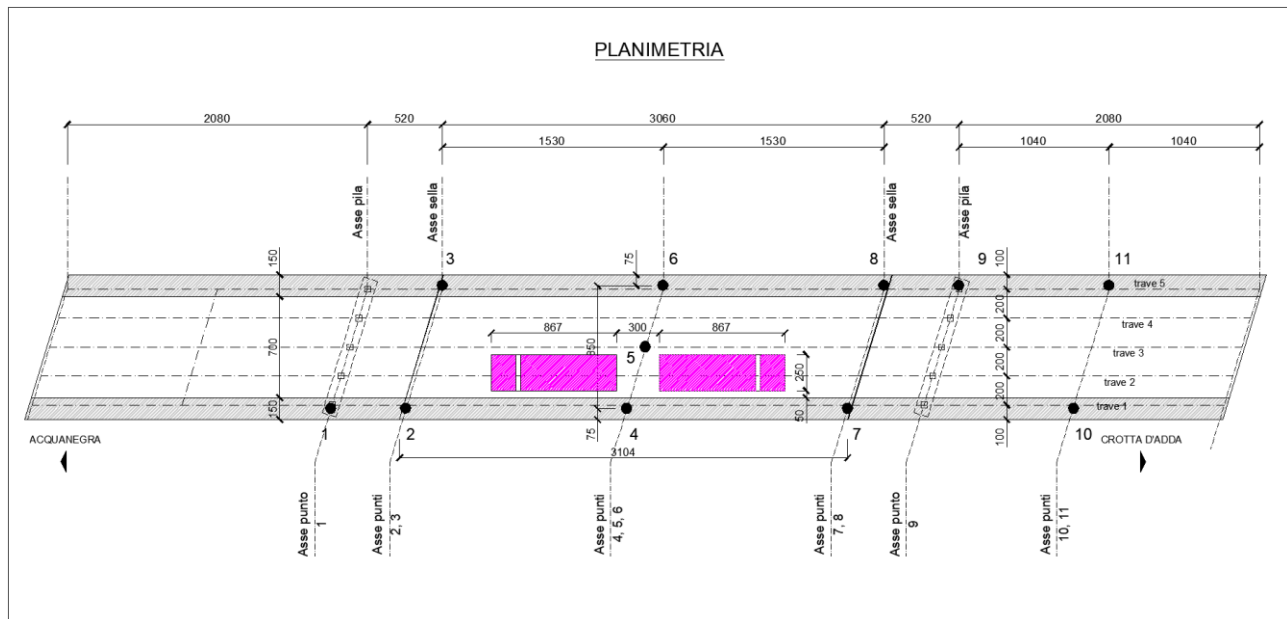
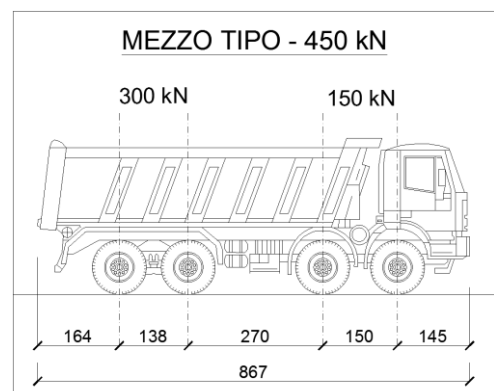
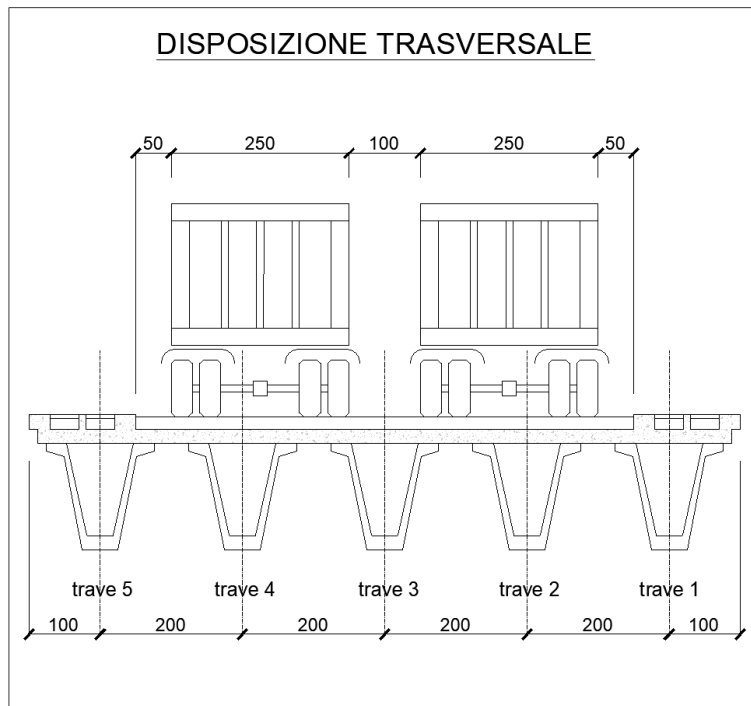


Figura 6 – Schema di carico nella Fase 2 – pianta

2.4 FASE 3

In questa fase si prevede la prova di carico della campata centrale. Essa viene caricata trasversalmente disponendo due autocarri sulla parte più esterna della carreggiata, a 0,50 m dal cordolo di destra percorrendo il ponte in direzione Crotta d'Adda a cui si aggiungono altri due autocarri trasversalmente distanti 1,00 m rispetto a quelli già presenti sull'impalcato. Essi si collocano ad una distanza longitudinale di 6,00 m l'uno dall'altro e sono disposti in modo tale da massimizzare il momento flettente in mezzeria della campata. I mezzi sono carichi con il massimo carico applicabile, ossia **450 kN**, per un totale di **1.800 kN** presenti sull'impalcato, per una disposizione che massimizza il momento flettente. Di seguito si riporta lo schema considerato:



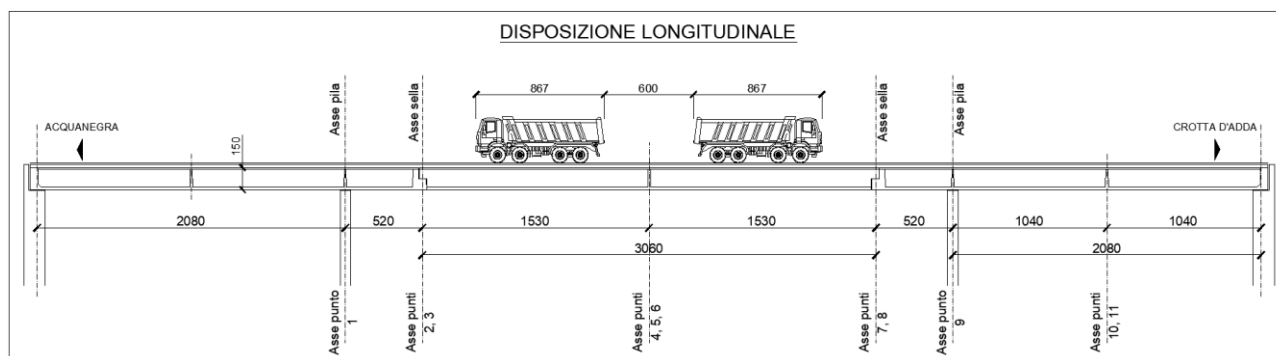


Figura 7 – Schema di carico nella Fase 3 – sezioni

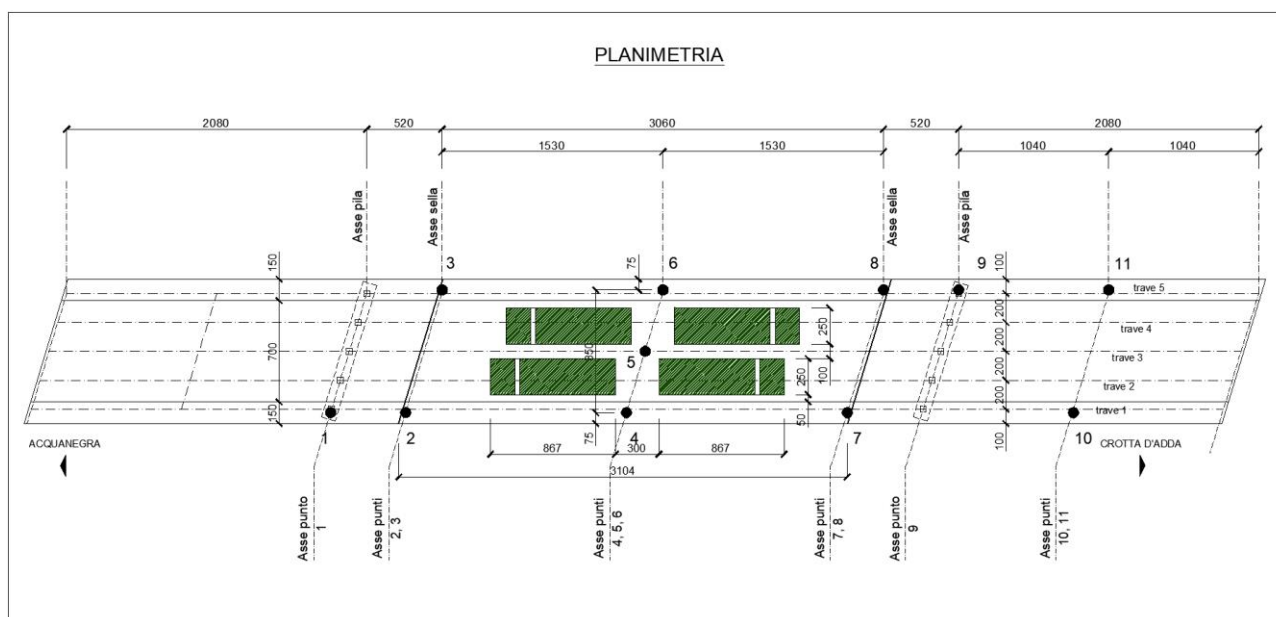


Figura 8 – Schema di carico nella Fase 3 – pianta

2.5 FASE 4

In questa fase si prevede lo scarico completo dell'opera allontanando tutti i mezzi presenti e descritti precedentemente con susseguente lettura ad opera scarica.

2.6 DISPOSIZIONE DEI PUNTI DI MISURA

Si prevede la misurazione degli spostamenti su un totale di 11 punti di misura:

- UN punto di lettura posizionato in corrispondenza dell'asse della pila lato Acquanegra, trasversalmente collocato in mezzzeria del cordolo destro (stesso lato dove sono presenti i mezzi). Punto di lettura n. 1.
- DUE punti di lettura posizionati in corrispondenza dell'asse della sella lato Acquanegra, trasversalmente collocati in corrispondenza dei marciapiedi e distanti tra loro 850 cm. Punti di lettura n. 2, 3.
- TRE punti di lettura posizionati in mezzzeria della campata centrale, trasversalmente collocati in corrispondenza dei marciapiedi e distanti tra loro 850 cm. Punti di lettura n. 4, 5, 6.
- DUE punti di lettura posizionati in corrispondenza dell'asse della sella lato Crotta d'Adda, trasversalmente collocati in corrispondenza dei marciapiedi e distanti tra loro 850 cm. Punti di lettura n. 7, 8.
- UN punto di lettura posizionato in corrispondenza dell'asse della pila lato Crotta d'Adda, trasversalmente collocato in mezzzeria del cordolo sinistro (lato opposto a quello dove sono presenti i mezzi). Punto di lettura n. 9.
- DUE punti di lettura posizionati in mezzzeria della campata di bordo, lato Crotta d'Adda, trasversalmente collocati in corrispondenza dei marciapiedi e distanti tra loro 850 cm. Punti di lettura n. 10, 11.

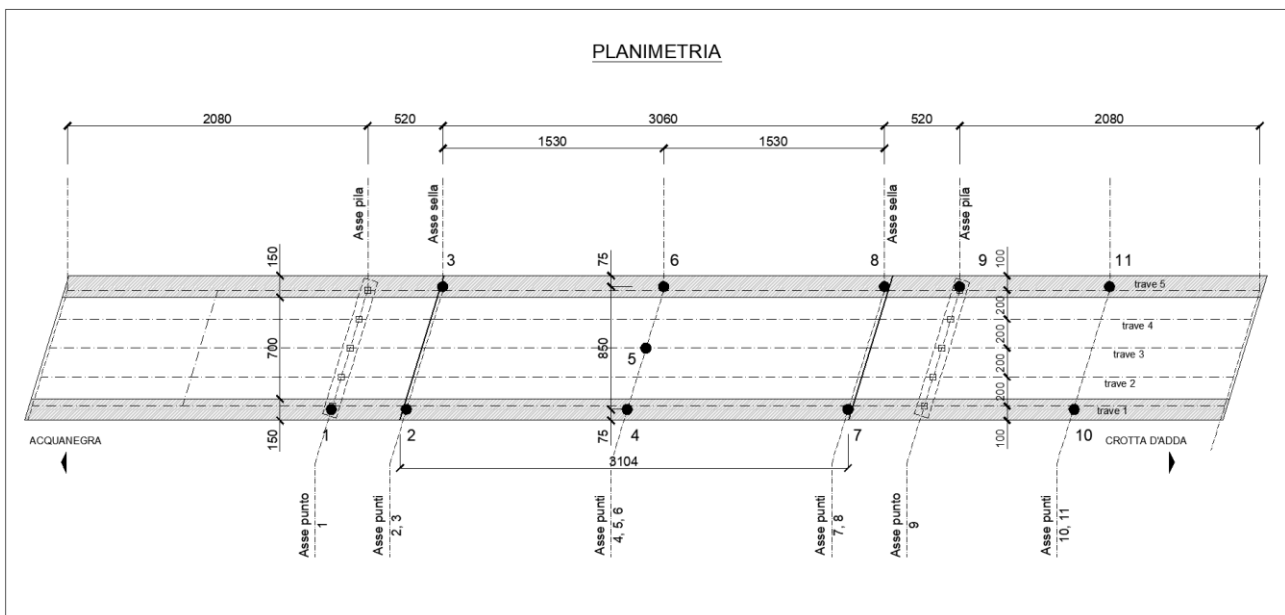


Figura 9 – Pianta posizionamento dei punti di lettura

2.7 PROGRAMMA DI CARICO E MODALITÀ DI LETTURA

Gli incrementi di carico e la misurazione delle deformazioni procederanno secondo il programma riportato successivamente, mentre le misurazioni sono da intendersi eseguite come da precedente paragrafo. Il programma risulta essere perciò così strutturato:

- Lettura a ponte scarico (lettura di Zero);
- Posizionamento mezzi in Fase 2 (2 autocarri) per la prova sulla campata centrale;
- Lettura a carico immediato;
- Lettura a 15;
- Posizionamento mezzi in Fase 3 (2+2 autocarri) per la prova sulla campata centrale;
- Lettura a 15;
- Scarico dell'opera allontanando gli autocarri;
- Lettura a scarico immediato;
- Lettura a opera scarica a 15';
- Lettura a opera scarica a 20'.

3 MODELLAZIONE

3.1 INFORMAZIONI SUL CODICE DI CALCOLO

Lo scrivente ha esaminato preliminarmente la documentazione a corredo dei software per valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico. Tale documentazione, contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati.

Inoltre, è stata verificata l'affidabilità dei codici di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.



Titolo:

Caratteristiche: Programma di calcolo strutturale agli elementi finiti che esegue il calcolo di strutture spaziali composte da elementi mono e/o bidimensionali anche con non linearità di materiale o con effetti dinamici

Autore: Computers and Structures, Inc. CALIFORNIA
1646 N. California Blvd., Suite 600 Walnut Creek, CA 94596 USA

Distributore: CSI ITALIA Galleria San Marco 4 - 33170 Pordenone - Italia

Versione: 20

3.2 ANALISI FEM

Viene svolta un'analisi per ogni fase di carico caratterizzata da un modello monodimensionale in cui si studia il comportamento dell'impalcato valutando il momento massimo a seconda della posizione e i conseguenti spostamenti previsti nei punti di misurazione. Il programma agli elementi finiti utilizzato è il codice di calcolo SAP 2000.

Le travi principali sono state modellate come elementi frame.

In seguito è stata effettuata un'analisi elastica lineare applicando all'impalcato i carichi trasmessi dai carichi di prova secondo le disposizioni indicate nei paragrafi precedenti.

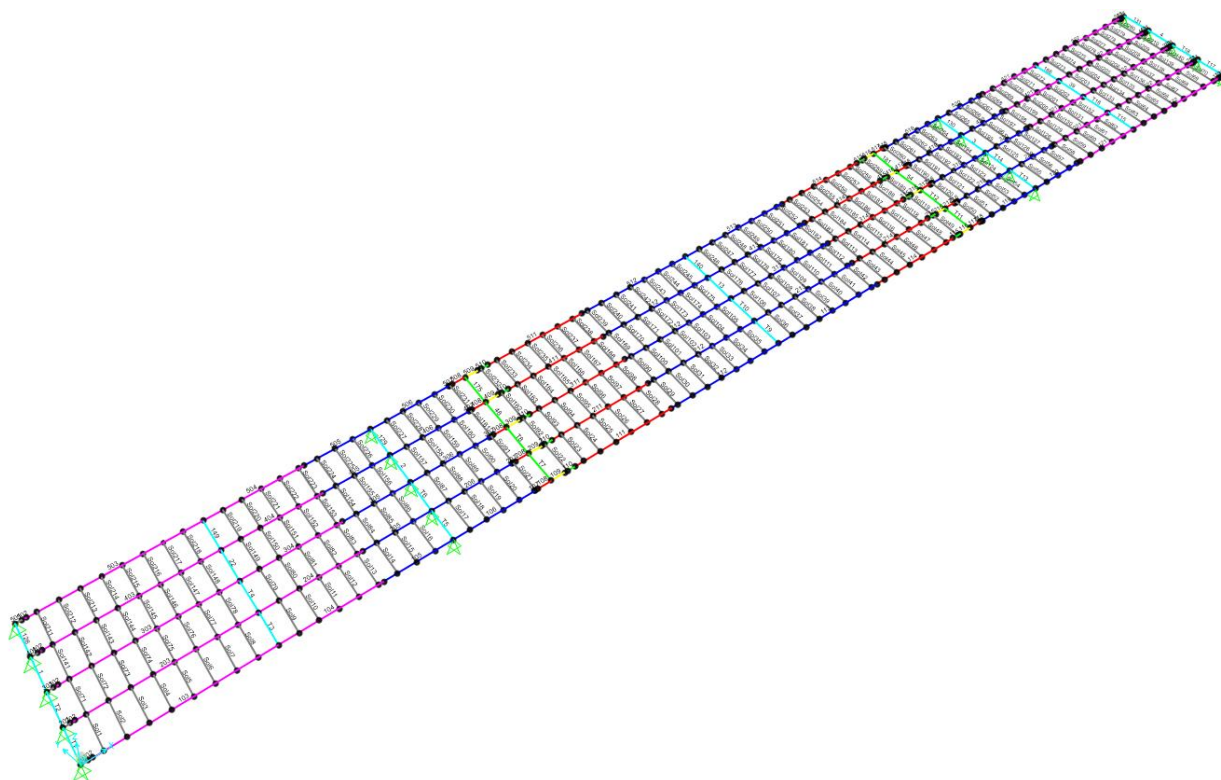


Figura 10 – Modellazione, Vista 3d

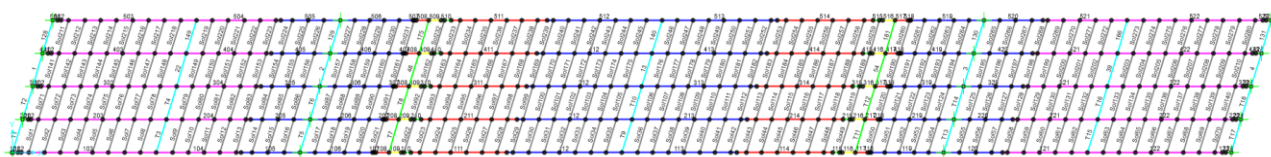


Figura 11 – Modellazione campata con numerazione frame (vista in pianta)

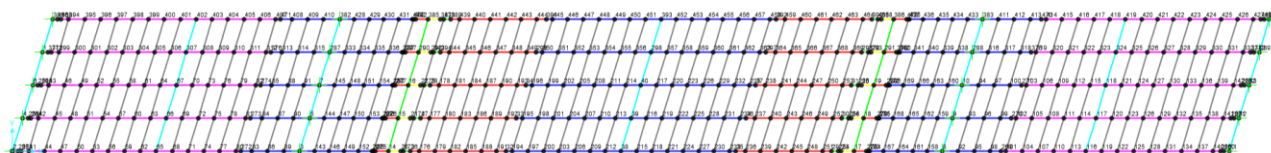


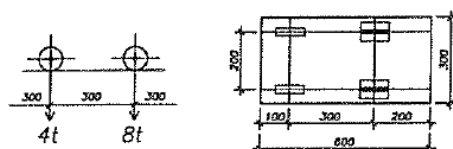
Figura 12 – Modellazione campata con numerazione joint (vista in pianta)

4 SOLLECITAZIONI NELLA FASE DI PROGETTO

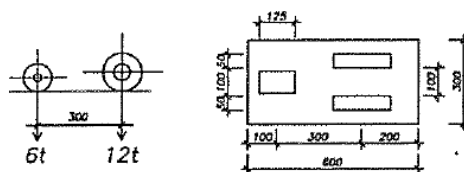
I valori di sollecitazione sono stati calcolati mediante il software di calcolo nel quale sono stati implementati i carichi di progetto. All'epoca della progettazione erano vigenti la Circolare N. 384 del 14-2-62 del Min. dei LLPP (1962).

La prima forniva 3 schemi di carico civili; si riportano gli schemi di carico civili previsti.

SCHEMA 1 - Colonna indefinita di autocarri da 12t



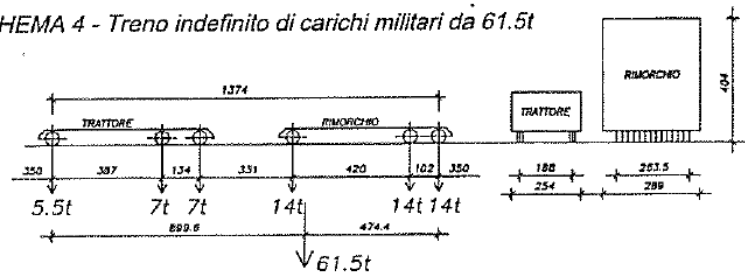
SCHEMA 2 - Rullo compressore isolato da 18t



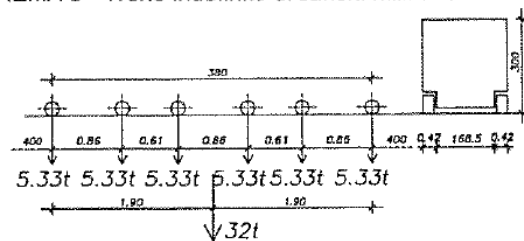
SCHEMA 3 - Folla compatta (400 kg/mq)

La seconda forniva 3 schemi di carico militari. Si riportano gli schemi di carico militari previsti.

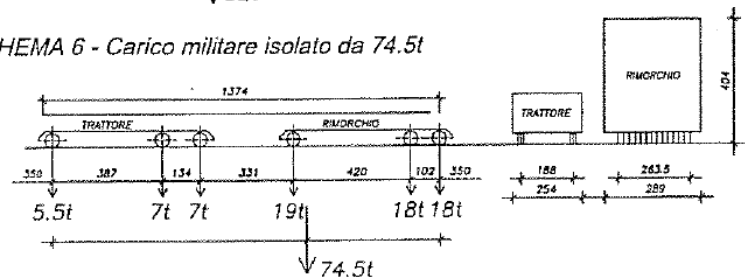
SCHEMA 4 - Treno indefinito di carichi militari da 61.5t



SCHEMA 5 - Treno indefinito di carichi militari da 32t



SCHEMA 6 - Carico militare isolato da 74.5t



La norma di cui sopra propone delle tabelle in cui per diverse luci del ponte, per i diversi schemi di carico da 1 a 6, sono indicati i carichi distribuiti da assegnare al modello per uguagliare il taglio all'appoggio oppure il massimo momento flettente in campata.

CARICHI RIPARTITI EQUIVALENTI

Luce m	Carichi flessionali p_1 in t/ml					Luce m	Carichi taglianti p_2 in t/ml				
	Carichi civili		Carichi militari				Carichi civili		Carichi militari		
	Schema 1	Schema 2	Schema 4	Schema 5	Schema 6		Schema 1	Schema 2	Schema 4	Schema 5	Schema 6
1	16,000	24,000	28,000	10,667	38,000	1	16,000	24,000	28,000	12,160	36,000
1,5	10,667	16,000	18,667	9,027	25,333	1,5	10,667	16,000	24,640	10,287	31,680
2	8,000	12,000	15,541	8,188	19,981	2	8,000	12,000	20,860	9,787	26,820
2,5	6,400	9,600	14,193	7,285	18,248	2,5	6,400	9,600	17,830	9,114	22,925
3	5,333	8,000	12,859	7,329	16,534	3	5,333	8,000	15,493	8,770	19,920
3,5	4,571	6,857	11,677	7,561	15,013	3,5	4,898	7,347	13,669	8,620	17,574
4	4,000	6,000	10,658	7,455	13,703	4	4,500	6,750	12,215	8,400	15,705
4,5	3,556	5,333	9,784	7,252	12,579	4,5	4,148	6,222	11,034	8,217	14,187
5	3,200	4,800	9,032	7,143	11,612	5	3,840	5,760	10,038	7,936	12,931
5,5	2,921	4,382	8,381	6,954	10,776	5,5	3,570	5,355	9,497	7,617	12,229
6	2,778	4,167	7,814	6,727	10,047	6	3,333	5,000	9,147	7,289	11,803
6,5	2,651	3,965	7,316	6,486	9,407	6,5	3,314	4,686	8,788	6,968	11,359
7	2,612	3,778	6,877	6,243	8,842	7	3,265	4,408	8,434	6,661	10,917
7,5	2,560	3,605	6,486	6,005	8,339	7,5	3,200	4,160	8,094	6,372	10,487
8	2,500	3,445	6,136	5,776	7,889	8	2,125	3,938	7,770	6,133	10,077
8,5	2,436	3,297	5,990	5,559	7,728	8,5	3,045	3,737	7,464	5,950	9,687
9	2,370	3,160	5,854	5,352	7,561	9	2,963	3,556	7,258	5,813	9,401
9,5	2,305	3,034	5,713	5,157	7,387	9,5	2,925	3,391	7,057	5,717	9,125
10	2,240	2,916	5,599	4,974	7,209	10	2,880	3,240	6,877	5,639	8,873
11	2,128	2,705	5,411	4,639	6,857	11	2,777	2,975	6,609	5,554	8,474
12	2,111	2,521	5,206	4,342	6,518	12	2,667	2,750	6,331	5,511	8,079
13	2,083	2,360	4,997	4,231	6,200	13	2,651	2,556	6,057	5,453	7,700
14	2,122	2,217	4,793	4,137	5,933	14	2,612	2,388	5,809	5,355	7,358
15	2,133	2,091	4,597	4,110	5,710	15	2,560	2,240	5,607	5,234	7,072
16	2,125	1,978	4,420	4,106	5,521	16	2,531	2,109	5,408	5,117	6,798
17	2,104	1,876	4,340	4,120	5,357	17	2,491	1,993	5,216	5,032	6,537
18	2,086	1,784	4,291	4,136	5,195	18	2,444	1,889	5,098	4,982	6,291
19	2,083	1,701	4,230	4,204	5,038	19	2,438	1,795	5,051	4,958	6,059
20	2,080	1,625	4,159	4,253	4,885	20	2,420	1,710	5,006	4,944	5,840
21	7,058	1,555	4,113	4,293	4,739	21	2,395	1,633	4,947	4,920	5,635
22	2,050	1,491	4,060	4,308	4,599	22	2,380	1,562	4,877	4,879	5,443

N. B. — Per luci intermedie è ammessa l'interpolazione lineare.

Segue CARICHI RIPARTITI EQUIVALENTI

Luce m	Carichi flettenti p_1 in t/m					Luce m	Carichi taglianti p_2 in t/m				
	Carichi civili		Carichi militari				Carichi civili		Carichi militari		
	Schema 1	Schema 2	Schema 4	Schema 5	Schema 6		Schema 1	Schema 2	Schema 4	Schema 5	Schema 6
23	2,028	1,432	4,000	4,304	4,475	23	2,359	1,497	4,829	4,827	5,261
24	2,028	1,378	3,936	4,286	4,363	24	2,333	1,438	4,795	4,778	5,091
25	2,022	1,327	3,870	4,257	4,255	25	2,330	1,382	4,750	4,742	4,930
26	2,036	1,280	3,818	4,220	4,151	26	2,320	1,331	4,702	4,720	4,778
27	2,041	1,236	3,790	4,177	4,051	27	2,305	1,284	4,664	4,709	4,635
28	2,041	1,196	3,766	4,145	3,954	28	2,296	1,240	4,634	4,702	4,500
29	2,036	1,157	3,737	4,118	3,860	29	2,283	1,199	4,600	4,688	4,372
30	2,031	1,121	3,703	4,106	3,771	30	2,267	1,160	4,559	4,665	4,251
31	2,031	1,088	3,666	4,104	3,685	31	2,264	1,124	4,515	4,635	4,137
32	2,031	1,056	3,626	4,105	3,602	32	2,258	1,090	4,477	4,608	4,028
33	2,028	1,026	3,584	4,110	3,522	33	2,248	1,058	4,436	4,591	3,924
34	2,021	0,997	3,567	4,125	3,446	34	2,242	1,028	4,391	4,578	3,825
35	2,012	0,971	3,567	4,137	3,327	35	2,233	0,999	4,357	4,571	3,732
36	2,012	0,945	3,583	4,157	3,302	36	2,222	0,972	4,340	4,568	3,642
37	2,010	0,921	3,612	4,169	3,233	37	2,221	0,947	4,330	4,558	3,557
38	2,017	0,898	3,634	4,174	3,168	38	2,216	0,922	4,314	4,543	3,475
39	2,020	0,876	3,648	4,173	3,105	39	2,209	0,899	4,294	4,523	3,397
40	2,020	0,856	3,657	4,167	3,044	40	2,205	0,878	4,276	4,508	3,323
45	2,015	0,765	3,673	4,107	2,771	45	2,181	0,782	4,212	4,475	2,993
50	2,010	0,691	3,658	4,116	2,541	50	2,163	0,706	4,135	4,429	2,722
55	2,010	0,631	3,646	4,138	2,345	55	2,147	0,643	4,079	4,400	2,496
60	2,004	0,580	3,621	4,107	2,177	60	2,133	0,590	4,041	4,380	2,304
70	2,005	0,500	3,570	4,124	1,903	70	2,116	0,507	3,962	4,337	1,997
80	2,005	0,439	3,602	4,104	1,689	80	2,101	0,444	3,923	4,306	1,762
90	2,003	0,391	3,597	4,107	1,518	90	2,089	0,396	3,878	4,286	1,576
100	2,003	0,353	3,577	4,112	1,379	100	2,079	0,356	3,849	4,268	1,426
120	2,001	0,295	3,583	4,107	1,164	120	2,061	0,289	3,799	4,239	1,197
140	2,002	0,253	3,570	4,103	1,007	140	2,051	0,255	3,765	4,220	1,031
160	2,001	0,222	3,577	4,104	0,887	160	2,043	0,224	3,741	4,205	0,906
180	2,000	0,198	3,572	4,106	0,793	180	2,037	0,199	3,722	4,190	0,808
200	2,001	0,178	3,571	4,086	0,717	200	2,033	0,179	3,707	4,179	0,729

N. B. — Per luci intermedie è ammessa l'interpolazione lineare.

I risultati di tale modellazione sono visibili nella figura seguente dove si evince un momento flettente massimo indotto dallo schema carichi militari + carichi civili pari a 206,29 ton m.

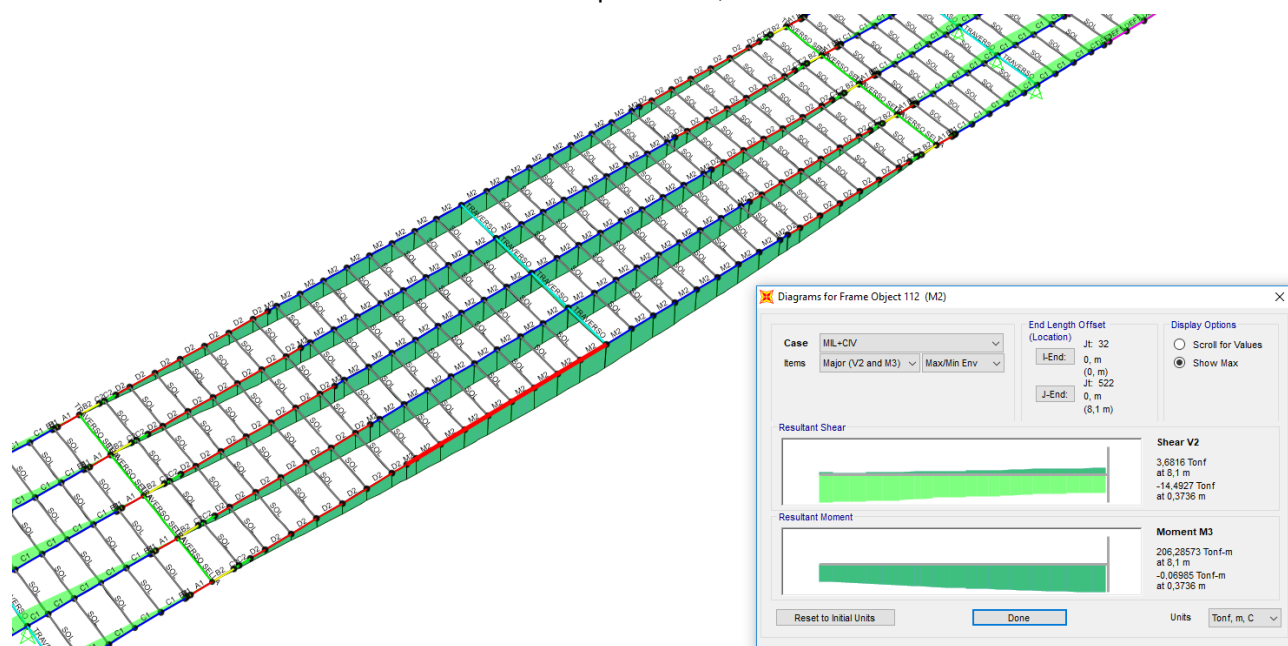


Figura 13 – Sollecitazioni flettenti di progetto

5 SOLLECITAZIONI IN FASE DI PROVA DI CARICO

5.1 FASE 2

Per la Fase 2 il diagramma delle sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico è:

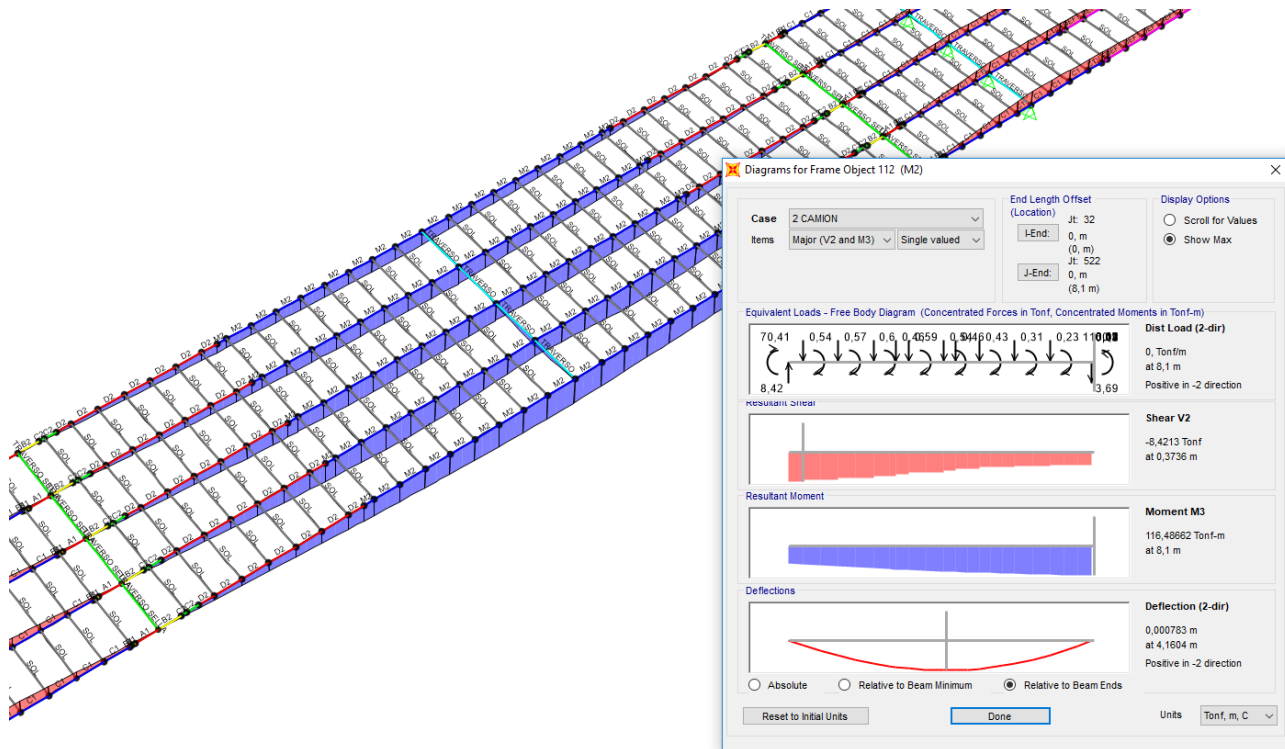


Figura 14 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico per la fase 2

Nel dettaglio il momento flettente massimo in mezzeria durante la fase 2 della prova di carico è pari a:

$M = 116,49 \text{ ton m}$ (valore inferiore a 206,29 ton m dichiarato al paragrafo 4 della presente relazione di calcolo)

5.2 FASE 3

Per la Fase 3 il diagramma delle sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico è:

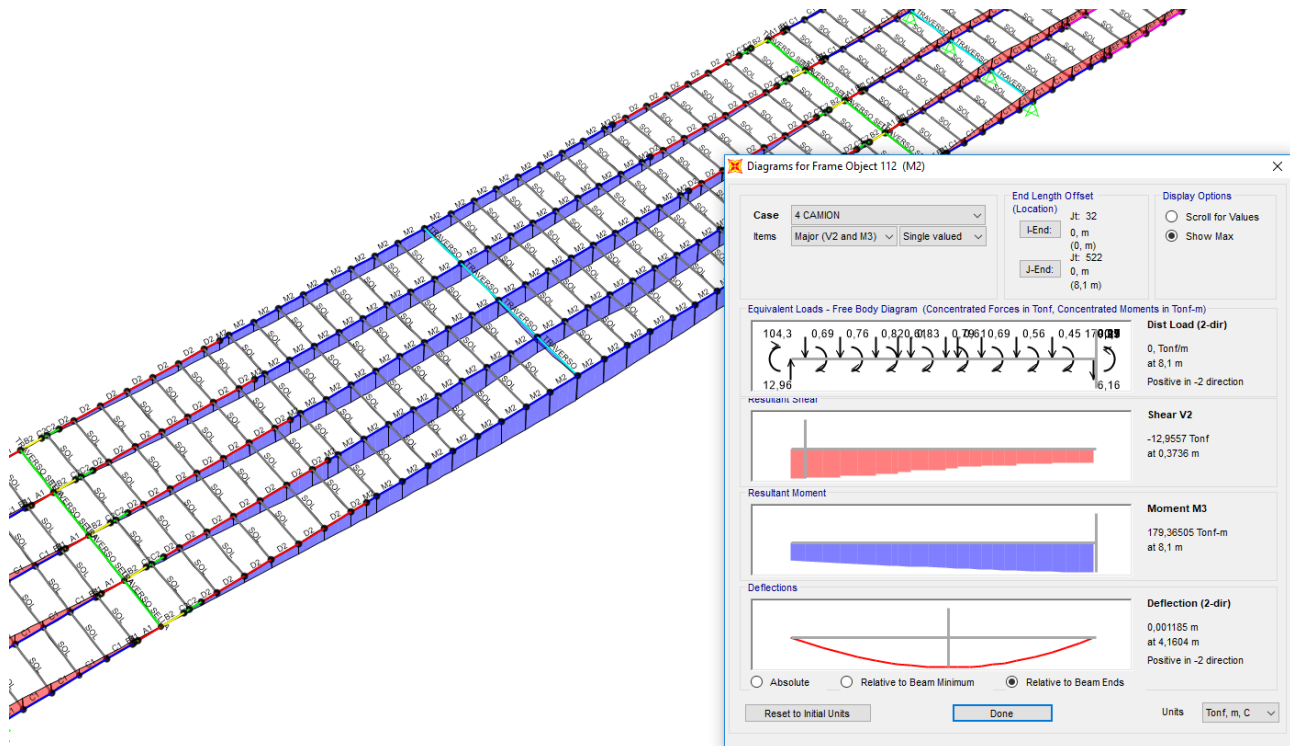


Figura 15 – Sollecitazioni flettenti indotte dalla prova di carico per la fase 3

Nel dettaglio il momento flettente massimo in mezzeria durante la fase 3 della prova di carico è pari a:

$M = 179,37 \text{ ton m}$ (valore inferiore a $206,29 \text{ ton m}$ dichiarato al paragrafo 4 della presente relazione di calcolo)

5.3 RIEPILOGO DELLE SOLLECITAZIONI

Nella tabella seguente si riporta un riepilogo delle sollecitazioni.

Momenti flettenti	Progetto [ton m]	Prova di carico [ton m]	
Fase 2 - Max	206,29	116,49	56,5 %
Fase 3 - Max	206,29	179,37	87,0 %

In tutte le fasi il confronto è stato effettuato secondo il valore caratteristico dei soli carichi accidentali, considerando il fatto che durante la prova di carico sono misurate solo le deformazioni causate dalla presenza dei mezzi.

6 SPOSTAMENTI IN FASE DI PROVA DI CARICO

6.1 FASE 2

In questa fase lo spostamento massimo ottenuto in corrispondenza del punto di lettura n. 4:

Teorico **11,00 mm**

Effettivo **9,10 mm**

La figura seguente riporta la configurazione deformata in Fase 2. Le tabelle seguenti riportano le frecce previste dal modello di calcolo nei punti di misura (si indicano con il segno positivo gli spostamenti verso l'alto).

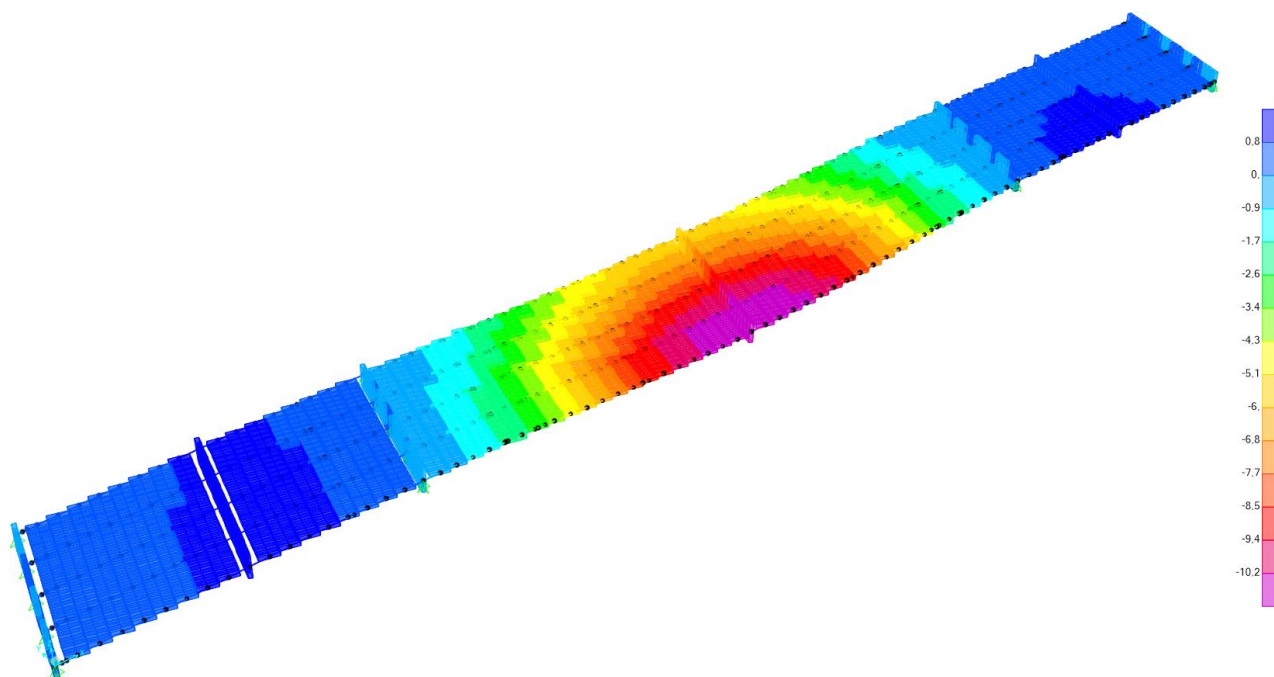


Figura 16 – Configurazione deformata in Fase 2

ABBASSAMENTI		
PUNTI DI LETTURA	CALCOLO(mm)	EFFETTIVI(mm)
1	0,0	-
2	2,1	1,97
3	1,5	-
4	11,0	9,10
5	9,0	7,68
6	5,4	4,42
7	2,5	1,45
8	0,8	-
9	0,0	-
10	-1,2	-
11	-0,6	-

6.2 FASE 3

In questa fase lo spostamento massimo ottenuto in corrispondenza del punto di lettura n. 5:

Teorico **18,10 mm**

Effettivo **15,88 mm**

La figura seguente riporta la configurazione deformata in Fase 3. Le tabelle seguenti riportano le frecce previste dal modello di calcolo nei punti di misura (si indicano con il segno positivo gli spostamenti verso l'alto).

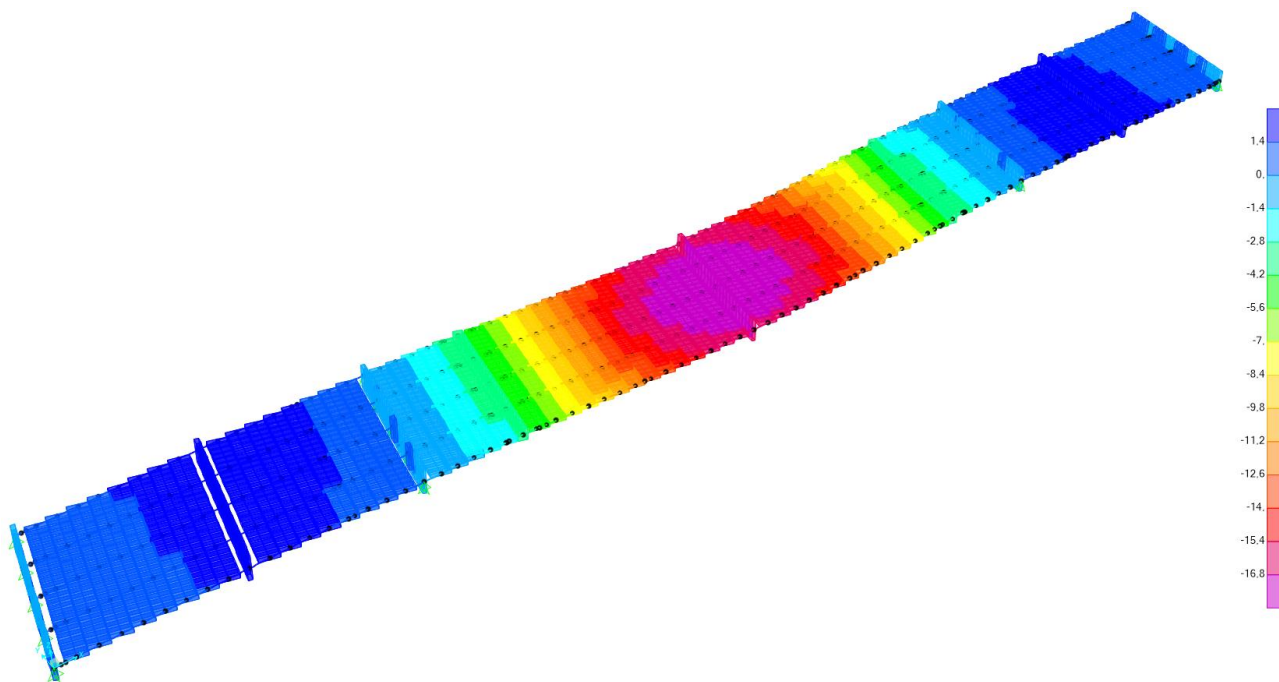


Figura 17 – Configurazione deformata in Fase 3

ABBASSAMENTI		
PUNTI DI LETTURA	CALCOLO(mm)	EFFETTIVI(mm)
1	0,0	-
2	3,0	2,93
3	4,0	4,22
4	16,5	14,42
5	18,1	15,88
6	16,5	14,67
7	4,0	2,65
8	3,0	1,82
9	0,0	-
10	-2,1	-2,98
11	-1,6	-2,03